125 Jahre Wheatstone-Kirchhoff-Brücke

Von Professor Dr. *Fritz Fraunberger*, München

Wenn eine Sache im Jahre 1843 publik wurde und 1845 anderswo ein zweites Mal, dann ist es salomonisch, das 125. Gedenkjahr 1969 zu begehen, auch deswegen, weil das 100jährige Jubiläum, wenn es überhaupt Erwähnung fand, im Waffenlärm jener Tage untergehen mußte.

Es waren „Bedürfnisse der Signalgebung", d. h. der Telegraphie, die Charles Wheatstone, Professor für Experimental Philosophy am Kings College zu London, veranlaßten, Verfahren zur Messung von Widerständen auszuarbeiten. Nach eigener Angabe beschäftigte er sich mehrere Jahre

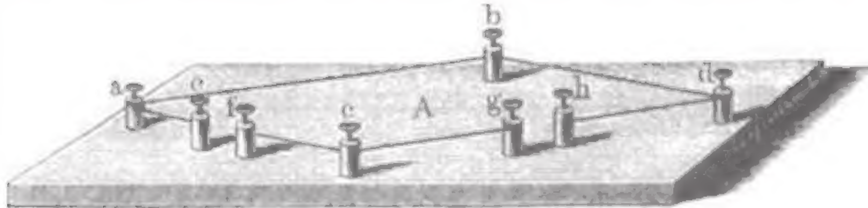


Abb. 1: Die *Wheatstone*sche Brücke im Urzustand

damit. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgte in den Philos. Transactions[1]) als Niederschrift einer Bakerian Lecture; Poggendorff übernahm die Abhandlung in die Annalen.[2]) Die Brücke, die Wheatstone im § 16 der Arbeit angab, ist allerdings die einfachste und durchsichtigste, die möglich ist (Abb. 1).

Im Schema Abb. 2 sind R_1 und R_2 zwei gleiche Kupferdrähte, X der zu bestimmende Widerstand, R ein veränderlicher Widerstand oder Rheostat, wie er ihn benannte. Als Einheit des Widerstandes diente ein Kupferdraht von 1 Fuß Länge und 100 grain Gewicht „entsprechend der Handelsnummer 16 und 17". Abb. 3 zeigt seine Anordnung: Der Rheostat (links im Bild) ist eine hölzerne Walze mit Schraubengängen zur Aufnahme des Kupferdrahtes,

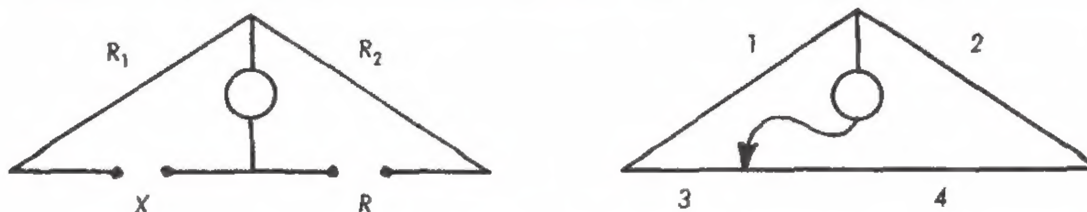


Abb. 2: Schema der Brückenanordnung;
a) die Anordnung von *Wheatstone:* $R_1 = R_2$, dann $x = R$;
b) die Brücke von *Kirchhoff*

rechts eine Walze aus Messing, Schleifkontakte rechts vorne und hinten. Durch Drehen an der Kurbel konnte die Länge des Kupferdrahtes auf der Holzwalze verändert werden. Der Draht lief über eine zwischen den Walzen befindliche graduierte Holzleiste. Auf ihr konnte die Anzahl der auf der Holzwalze liegenden Windungen abgelesen werden, auf der Skala links vorne Bruchteile.

1) *Ch. Wheatstone*, Phil. Trans., Part *I*, 303 (1843)
2) *Ch. Wheatstone*, Pogg. Ann. *64*, 499 (1844)

Aus der Veröffentlichung wird nicht recht klar, ob Wheatstone diese Schaltung selbständig erdachte. In einer Fußnote (S. 325) vermerkt er, daß Sir Hunter Christie zehn Jahre früher praktisch dieselbe Anordnung benützte[3]): „To Mr. Christie must therefore be attributed the first idea of this useful and accurate method of measuring resistance."

Ganz anders Kirchhoff: In seiner Erstlingsarbeit, die er (noch Student) von Franz Neumann in Königsberg gestellt bekam, ging es darum, die Stromverteilung in einer dünnen Kreisscheibe zu berechnen, wenn an einer Stelle A des Randes Strom zugeführt und an einer anderen B wieder abgeleitet wird.[4]) Kirchhoff löste die Aufgabe mit Bravour; u. a. konnte er den Widerstand der Scheibe, bzw. dessen Änderung als Funktion des Abstandes AB berechnen. „Ich habe mir viel Mühe gegeben, den für den

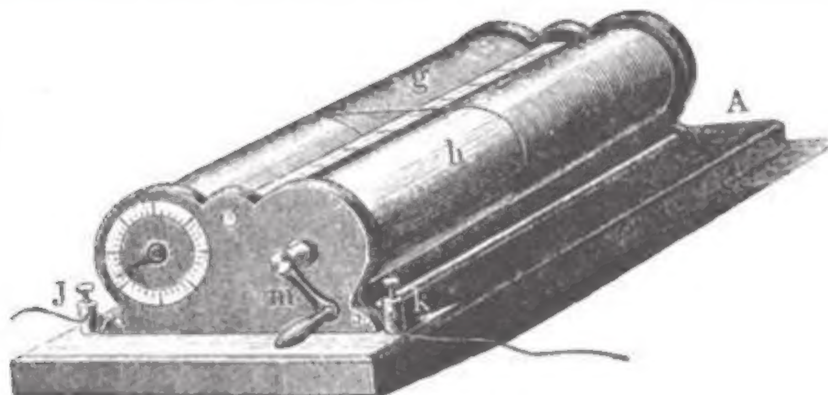


Abb. 3: *Wheatstones* Rheostat

Widerstand der Scheibe aufgestellten Ausdruck durch Experimente zu prüfen. Um die kleinen Veränderungen des Widerstandes beobachten zu können, traf ich folgende Vorrichtung..." (entsprechend Abb. 2b). Stück 3 war ein kurzer dicker, Stück 4 ein langer dünner Kupferdraht, Zweig 2 enthielt einen Rheostaten, Zweig 1 die Scheibe. Stellte ich den Rheostaten so, daß durch den Multiplikator kein Strom ging, so wußte ich, wie ich gleich beweisen werde, daß $R_1:R_2 = R_3:R_4 \ldots$"

Das große Verhältnis R_4/R_3 hatte den Zweck, die kleinen Veränderungen von R_1 dem Variationsbereich des Rheostaten anzupassen. Die unentbehrlich gewordenen Kirchhoffschen Gesetze, jetzt Knoten- und Maschengesetz genannt, werden als Anhang beigefügt. „Um die angegebene Proportion auf bequeme Weise abzuleiten, will ich zuerst beweisen:

1) $i_1+i_2+i_n = 0$, wenn Drähte in einem Punkt zusammenstoßen.

2) Wenn die Drähte $1, 2 \ldots n$ eine geschlossene Figur bilden, ist $i_1 \cdot r_1 + i_2 \cdot r_2 \ldots = e_1 + e_2 + \ldots$, wenn $e_1, e_2 \ldots$ in den Zweigen eingeschaltete elektromagnetische Kräfte sind. Dieser Satz liefert durch wiederholte Anwendung immer soviel Gleichungen, als zur Bestimmung aller Stromstärken nötig sind." Bei Kirchhoff erscheint die Bedingung für den Brückenabgleich von Anfang an in der allgemeinsten Form, bei Wheatstone sucht man sie vergebens, da er nur die symmetrische Brücke benützte. Somit müßte die Wheatstonesche Brücke entweder die Christiesche, mit noch mehr Berech-

---

3) *H. Christie*, Phil. Trans., Part *I*, 95 (1833)
4) *G. Kirchhoff*, Pogg. Ann. *64*, 497 (1845)

tigung aber die Kirchhoffsche Brücke heißen, umso mehr, als Kirchhoff auch die Form angab, in der sie bis heute benützt wird: die Variation des Widerstandsverhältnisses R_3/R_4 mit Hilfe eines Gleitkontaktes auf einem über einem Maßstab ausgespannten oder zu einem Kreis gebogenen Draht. Diese Vorrichtung findet man erstmals anläßlich einer Bestimmung der Leitfähigkeit der Alkalimetalle durch Kirchhoffs Schüler oder Assistenten Matthießen.[5])

Dennoch ist Wheatstone nicht ohne Verdienst: Er veröffentlichte die Sache zur richtigen Zeit, wies auf die Vorteile der Nullmethode hin und auf den Nutzen des Ohmschen Gesetzes, das „selbst von den mit Originaluntersuchungen beschäftigten Personen noch nicht allgemein verstanden und anerkannt wird".

Wheatstones Vater war Kaufmann und versorgte die musizierenden Einwohner von Gloucester mit Instrumenten, Saiten und Kolophonium. Sohn Charles begann damit, Musikinstrumente selbst herzustellen. Er wurde dabei ein so exzellenter Akustiker, daß ihm seine Arbeiten über Schwingungsanalyse und Chladnische Klangfiguren die obengenannte Professur für Experimentalphysik einbrachten. Seine größten Erfolge hatte er auf dem Gebiet der Telegraphie.

Ampère nannte einen stromführenden Draht „oder Stromdurchlasser", wie Poggendorff übersetzte, einen Rheophor; auch Gauss benützte dieses Wort. Wheatstone schien es so zu gefallen, daß er auch noch vorschlug: Rheomotor für Stromquellen aller Art, Rheoskop und Rheometer für Stromanzeiger und Strommesser, Rheotrop für einen Stromwender (Wippe) und schließlich den Rheostaten: „Da der Hauptzweck des Instrumentes darin besteht, den Strom auf irgendeine konstante Stärke zu bringen, so habe ich es Rheostat genannt."

In der Arbeit empfiehlt Wheatstone wohl als erster auch das Shunten von Galvanometern zur Erweiterung des Meßbereichs. Da Kirchhoff in seiner Abhandlung das Wort Rheostat gebrauchte, könnte er Wheatstones Arbeit gekannt haben, erwähnt wird sie nicht.

Die Vorrichtung heißt bei Wheatstone nicht Brücke, sondern Differentialwiderstandmesser. „Brücke" kommt möglicherweise von Poggendorff, der „Zu einem Problem bei linearer Verzweigung elektrischer Ströme" schreibt: „Ein einfacher Fall der Art ergibt sich, wenn man einen Strom auf eine gewisse Strecke in zwei Zweige zerteilt und beide Zweige durch einen Querdraht wie durch eine Brücke verbunden denkt..."[6]) Wilhelm Weber hatte ihn bei seinem Besuch in Leipzig 1844 auf die Kompliziertheit des Problems der hier vorliegenden Stromverzweigung aufmerksam gemacht und ihm die Rechnung gezeigt. Aber die von Kirchhoff sei viel einfacher und schon wegen ihrer fundamentalen Sätze, auf der sie beruht, vorzuziehen.

Im Hinblick auf die Rolle, welche die Wheatstone-Brücke in Lehrbüchern und Praktika einerseits und in der weltweiten Meßpraxis andererseits spielt, schien es aus eingangs genanntem Anlaß opportun, Ungereimtes und Irrtümliches wieder einmal ins Lot zu bringen.

---

5) *G. Kirchhoff*, Pogg. Ann. *100*, 177 (1857)
6) *Ch. Poggendorff*, Pogg. Ann. *67*, 273 (1846)